

PENDEKATAN HIDROGEOMORFOLOGI DAN PENDUGAAN GEOLISTRIK UNTUK IDENTIFIKASI POTENSI AIR TANAH DI JEDONG MALANG

Ferryati Masitoh^a, Alfi Nur Rusydi^b, Ilham Diki Pratama^a

^a *Jurusan Geografi, Universitas Negeri Malang, Malang, 65142, Indonesia*

^b *Jurusan Manajemen Sumber Daya Air, Universitas Brawijaya, Malang, 65142, Indonesia*

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 March 2021

Accepted: 20 July 2021

Published: 26 July 2021

Keywords:

Geoelectricity; Groundwater;
Hydrogeomorphology; Volcano

Corresponding author:

Ferryati Masitoh
Jurusan Geografi, Universitas Negeri
Malang, Malang, Indonesia
Email: ferryati.masitoh.fis@um.ac.id

ABSTRACT

This study aims to identify the potential groundwater in Jedong, Malang, East Java. The hydrogeomorphological approach is a suitable approach to describe the relationship between hydrological and geomorphological processes on and below the earth's surface. The survey of geoelectricity complements the hydrogeomorphological approach. It will give a better description of the groundwater conditions below the earth's surface. Based on the research, there are 2 hydrogeomorphological units in the study area, which are: Volcanic Foot Valley Unit and Volcanic Foot Ridge Unit. The best groundwater potential is in Volcanic Foot Valley Hydrogeomorphological unit, namely Awar-awar Valley and Cokro Valley. The valleys are dominated by gully erosion and landslides. They have surface deposits up to a depth of 7 meters, and lots of outcrops of breccia, pumice, and andesite boulders. The valley's springs discharge between 56 - 198 m³/day. The average infiltration rate in the valley is 1776 mm / hour, with sandy soil material. The best aquifer consisting of sandy material is more than 10 meters in depth, based on the geoelectrical survey. Water in the aquiclude layer, cannot be exploited because it is breccia and tuff material. The Sawah valley cannot be exploited further because the groundwater potential is very low. This can be identified by the thick water outflow seepage. In the Volcanic Foot Ridge Hydrogeomorphological unit, the groundwater potential is also very small. Hydrogeomorphically, water will flow down the slope to the valley. It will reduce the infiltration rate. In general, the ridge area is only used for settlement, while the slopes are used for dryland agriculture. The geoelectric analysis results show that the groundwater potential is at a depth of more than 45 meters. This research's results show that the combination of the hydrogeomorphological approach and the geoelectric use will provide a better description of the potential groundwater.

Copyright © 2021 The Authors

This open access article is distributed under a

Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International license

1. Pendahuluan

Airtanah merupakan bagian dari siklus hidrologi yang berada di zona jenuh air di bawah permukaan tanah (Singh et al., 2019). Airtanah digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan penduduk (Hwang et al., 2017). Jedong merupakan salah satu desa yang menggunakan airtanah sebagai sumber air utama bagi penduduk. Secara geologi, sebagian besar daerah kajian berada pada Formasi Batuan Vulkan Gunung Kawi-Butak (Qpkb). Formasi Qpkb tersusun atas batuan ekstrusif vulkanisme yang terbentuk pada Kala Pleistosen. Batuan penyusun formasi ini adalah breksi vulkan, tuff, lava, aglomerat, dan lahar. Daerah yang tersusun atas formasi Qpkb berada pada ketinggian antara 500 – 660 meter dpal. Bagian desa yang berada di antara elevasi 470 – 500 mdpl berada pada Formasi Batuan Tuff Malang (Qvtm). Batuan penyusun utama formasi ini adalah tuff pasir, tuff, batuapung, breksi tuff, dan tuff abu/halus (Santoso & Suwanti, 1992). Kondisi geomorfologi daerah kajian

menunjukkan bahwa Jedong berada di lereng gunungapi bagian tengah. Kemiringan lereng mencapai lebih 51°, jika ditinjau dari elevasi terendah hingga elevasi tertinggi. Secara hidrogeologi, daerah kajian berada pada daerah yang akuifernya bersifat setempat (*locally*) dengan keterusan yang beragam. Airtanah juga tidak dapat langsung dimanfaatkan melalui sumur penggalian airtanah secara tradisional, karena muka airtanah yang cukup dalam. Sumber air berasal dari mataair yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan domestik penduduk, meskipun dengan debit yang cukup kecil (Poespowardoyo, 1984).

Daerah kajian berada di Sub-DAS Metro yang memiliki medan bergunung. Sisi Barat Laut desa adalah lereng atas Gunung Kawi. Bagian Timur desa cenderung lebih landai dengan elevasi antara 470 – 600 mdpl. Daerah kajian teraliri oleh sungai orde 3 yang mengalir dari Barat Laut ke Tenggara dan membentuk aliran paralel ke Sungai Metro.

Upaya untuk memahami kondisi airtanah secara hidrologi, sekaligus mengidentifikasi kondisi geomorfologinya pada suatu daerah merupakan hal yang tidak mudah. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah melalui pendekatan hidrogeomorfologi (Sidle et al., 2017). Hidrogeomorfologi merupakan salah satu pendekatan yang baik untuk mengkaji hidrologi airtanah, bahkan memiliki kemampuan yang lebih akurat untuk menambah informasi dalam survei hidrogeologi dan keberlanjutan lingkungan (Teixeira et al., 2013). Variabel hidrogeomorfologi yang dapat digunakan untuk menentukan kondisi airtanah antara lain: litologi (struktur dan jenis material penyusun), kemiringan lereng atau morfologi medan, proses geomorfologi, dan tutupan lahan (Masitoh et al., 2019; Pourghasemi et al., 2020; Teixeira et al., 2013).

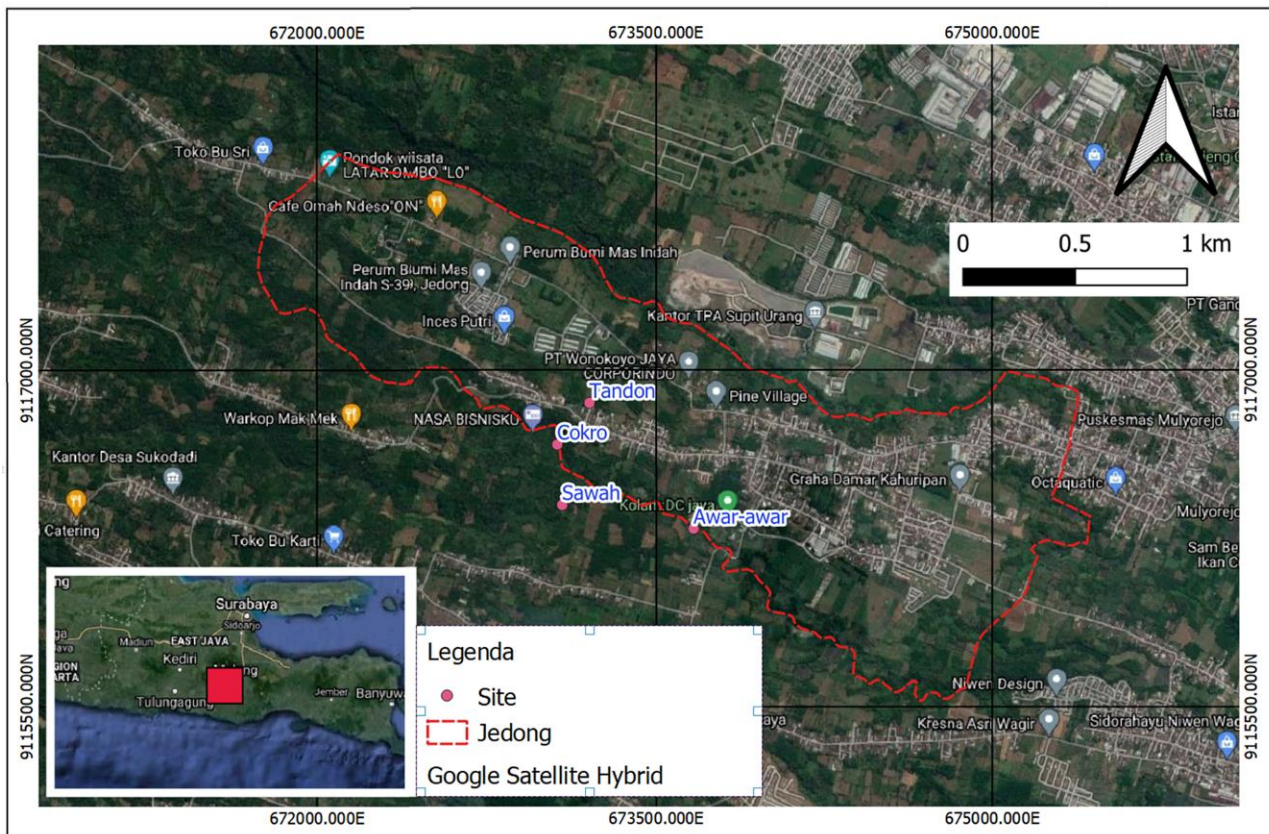
Pendekatan hidrogeomorfologi digunakan untuk mengidentifikasi potensi airtanah di Jedong Malang. Daerah kajian berada di lereng Gunungapi Kawi Malang dengan topografi bergunung dan lembah. Kondisi airtanah bebas sangat dipengaruhi oleh topografi (Dai et al., 2021). Pendekatan hidrogeomorfologi yang digunakan pada kajian mempertimbangkan aspek geomorfologi dan litologi yang berpengaruh terhadap potensi airtanah, selain juga mempengaruhi proses aliran permukaan (*run-off*), erosi permukaan, dan aliran sungai (Sidle & Onda, 2004).

Selain menggunakan pendekatan hidrogeomorfologi, penelitian ini menggunakan teknik geofisika, berupa pendugaan geolistrik (Lukman et al., 2017; Naryanto et al., 2020; Olakunle, 2012). Geolistrik merupakan salah satu teknik geofisika dengan mengalirkan arus listrik ke dalam lapisan batuan di permukaan (litosfer), sehingga akan menimbulkan tegangan listrik yang disebut tahanan jenis. Berdasarkan nilai tahanan jenis batuan, maka dapat diinterpretasi kondisi akuifer di bawah permukaan bumi (Lukman et al., 2017). Tujuan penelitian ini adalah menerapkan pendekatan hidrogeomorfologi dan pendugaan geolistrik dalam upaya identifikasi potensi airtanah untuk mendukung penyediaan sumber air bagi masyarakat di Jedong Malang.

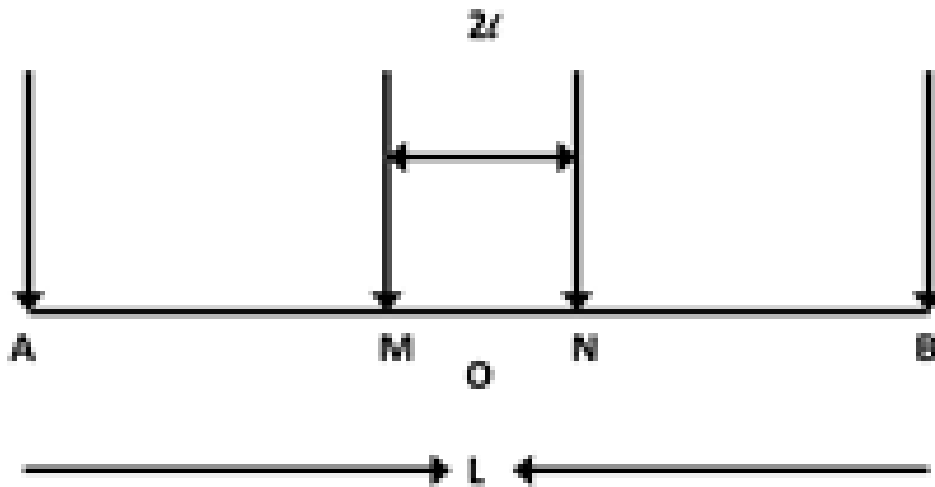
2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, dengan taraf analisis deskriptif analitik pada data hidrogeomorfologi dan geolistrik. Data kondisi hidrogeomorfologi airtanah Desa Jedong (Gambar 1) diperoleh melalui observasi lapangan dan hasil interpretasi *Digital Elevation Model* (DEMNAS), Peta Geologi, dan Peta Hidrogeologi. Data hidrologi yang diambil di lapangan mencakup laju infiltrasi dan debit mataair. Laju infiltrasi air diperoleh dengan menggunakan Turf-Tech Infiltrometer. Data debit mataair didapatkan melalui observasi lapangan dengan menghitung volume air yang mengalir dari mataair dalam periode waktu tertentu. Perhitungan laju infiltrasi diterapkan pada Site 1 Cokro, Site 2 Awar-awar, Site 3 Sawah, dan Site 4 Tandon, sedangkan perhitungan debit mataair hanya diterapkan pada Site 1 Cokro dan Site 2 Awar-awar. Data geomorfologi mencakup: litologi, kemiringan lereng, morfologi, dan proses geomorfologi (gerakan massa dan pengendapan). Data DEMNAS digunakan untuk mendapatkan data kemiringan lereng, yang dilengkapi hasil survei lapangan. Kombinasi data hidrogeomorfologi digunakan untuk mengisi variabel hidrogeomorfologi dalam matrik hidrogeomorfologi yang disampaikan oleh Gomi et al., (2002).

Informasi litologi bawah permukaan didapatkan melalui pendugaan geolistrik di beberapa lokasi, yaitu 2 (dua) lintasan geolistrik berada pada lembah dan 1 (satu) lintasan geolistrik berada pada punggung atau igir. Informasi litologi yang didapatkan dari pendugaan geolistrik adalah informasi geologi bawah permukaan tanpa melakukan pengeboran (Olakunle, 2012). Metode geolistrik yang digunakan adalah konfigurasi Schlumberger (Gambar 2). Konfigurasi tersebut menggunakan prinsip



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Keterangan: A, B: Elektroda Arus; M, N: Elektroda Potensial; L, 2l: Jarak antara 2 elektroda
Gambar 2. Konfigurasi Elektroda *Schlumberger* (Maemuna et al., 2017)

resistivitas (tahanan jenis) dengan cara merambatkan arus listrik ke dalam bumi melalui elektroda potensial (Volt) dan arus (Ampere) (Maemuna et al., 2017).

$$K = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{l^2} \quad (1)$$

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Perhitungan resistivitas semu menggunakan persamaan 1, sedangkan untuk mendapatkan nilai K atau faktor geometri menggunakan persamaan 2. Faktor geometri K digunakan sebagai faktor pengali untuk mendapatkan nilai resistivitas. Faktor geometri K tersebut akan memberikan nilai yang berbeda sesuai dengan konfigurasi geolistrik yang digunakan (Maemuna et al., 2017). Pada persamaan 2, ρ_a merupakan resistivitas semu (ohm.meter), sedangkan nilai ΔV dan I didapatkan dari hasil pendugaan

geolistrik di lapangan. Pada penelitian ini, pengolahan data pendugaan geolistrik menggunakan perangkat lunak PROGRESS (Rohadi & Yulianti, 2015). Pengolahan data pendugaan geolistrik menggunakan perangkat lunak PROGRESS memberikan informasi mengenai kedalaman lapisan (*depth*), *resistivity log*, serta *Root Mean Square (RMS) Error*. Nilai *RMS Error* merupakan persentase kesalahan yang didapatkan dari data observasi dan data kalkulasi. Nilai tersebut bukanlah nilai terkecil, melainkan nilai optimal. Nilai *RMS Error* disebut optimal jika variasi resistivitas dan kedalaman lapisan bawah permukaan dianggap sesuai dengan perkiraan kondisi lokasi pendugaan geolistrik (Wijaya, 2015).

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini terdiri atas 4 site atau lokasi survei, yaitu: Site 1 Cokro, Site 2 Awar-awar, Site 3 Sawah, dan Site 4 Tandon. Site 1 dan Site 2 merupakan daerah lembah dengan sumber mataair (*springs*). Site 1 dan 2 telah memiliki tandon terpendam yang dilengkapi dengan pompa untuk mengalirkan air penduduk melalui sistem perpipaan. Site 3 berupa rembesan (*seepage*) yang airnya digunakan untuk mengaliri lahan pertanian. Site 3 direncanakan juga akan dibangun tandon terpendam dan berpompa, sehingga memudahkan penduduk untuk mengakses airnya. Site 4 merupakan daerah punggungan yang melandai, yang telah dibangun tandon, dengan sumber air dari desa lainnya.

3.1. Hidrogeomorfologi Jedong

Secara geomorfologi, Site 1 Cokro berupa mataair terletak pada suatu lembah. Mataair berada pada elevasi 550 mdpl, dengan bentuk dasar medan lembah yang cukup lebar, dan morfologi bergunung. Kondisi lereng miring lebih dari 34° (0.6 rad), sedangkan pada bagian dasar lembah kemiringan lereng mencapai 1° (0.018rad), dengan kondisi relatif landai dan tertutup deposit koluvial. Kemiringan lereng akan memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap *runoff* dan infiltrasi (Morbideilli et al., 2018). Hal tersebut juga terbukti dengan tingginya laju infiltrasi sebesar 1774 mm/jam pada bagian dasar lembah. Tingginya infiltrasi dapat terjadi karena tebalnya lapisan tanah dan pengaruh perakaran bambu. Mataair dan rembesan terbentuk pada bagian kaki bukit yang tertutup oleh pepohonan bambu (Gambar 3e dan 3f). Bambu merupakan tumbuhan yang baik untuk meningkatkan resapan air, terutama pada daerah yang berupa jurang (*ravine land*). Bambu memiliki sifat mengikat tanah, menurunkan limpasan permukaan, dan mencegah erosi (Singh et al., 2014). Ketebalan tanah juga bervariasi di Site 1. Tanah yang dekat dengan mataair dan aliran sungai, memiliki ketebalan tanah yang lebih tipis dibandingkan dengan yang jauh dari mataair. Ketebalan tanah yang tipis tersebut juga banyak terdapat di daerah yang relatif lebih tinggi topografinya. Bongkah batuan beku andesit nampak tersingkap di sekitar mataair (Gambar 3a and 3c). Material batuapung (*pumice*) juga ditemukan di beberapa lokasi di Site 1 (Gambar 3c). Pumice mempunyai permeabilitas air yang tinggi akibat adanya rongga-rongga udara yang terbentuk pada saat proses pembekuan. Sebelum dipasang pipa, air mengerosi bagian di bawahnya dan membentuk erosi parit, dengan aliran air yang kecil. Erosi merupakan bagian dari proses hidrogeomorfik yang akan terhubung dengan pembentukan sungai (Sidle & Onda, 2004). Rembesan juga terbentuk di sekitar site, dan tertampung dalam cekungan air dengan dasar batuan vulkan andesit (Gambar 3b). Air yang keluar dari cekungan, selanjutnya mengalir ke saluran kecil yang terbentuk dari proses erosi parit sepanjang lembah. Singkapan batuan yang berupa bongkah juga ditemukan di sepanjang aliran.

Site 2 merupakan lembah yang diberi nama Awar-awar. Lembah Awar-awar terhubung dengan Cokro di bagian hulu. Mataair yang keluar di lembah ini diberi nama Awar-awar atau Bidadari atau Urung-urung. Mataair tersebut berada pada elevasi 512 mdpl. Rata-rata debit mataair sebesar 56.16 m³/hari, yang dalam klasifikasi Meinzer debit tersebut termasuk cukup kecil (Rathi et al., 2020). Air yang keluar dari Awar-awar digunakan untuk kebutuhan penduduk dan irigasi. Air tersebut dipompa untuk proses distribusi air ke masyarakat sekitar. Distribusi air dilaksanakan secara bergiliran di setiap rumah, yaitu pukul 06.00-11.00 dan 18.00-23.00. Sistem distribusi dilakukan oleh perangkat desa yang khusus menangani sumber air. Mataair disalurkan melalui pipa yang telah dilengkapi dengan kran untuk mengatur keluarnya air. Pengaturan sistem distribusi air sangat penting supaya dapat memenuhi semua kebutuhan penduduk (Ratih et al., 2019). Sebagian air akan mengalir menuju ke saluran irigasi pertanian di sekitar mataair. Mataair mengalir sepanjang tahun (*perennial*). Pada saat musim kemarau debit mataair akan berkurang, sedangkan pada saat musim hujan debit air akan meningkat. Penelitian sebelumnya di China menyebutkan bahwa penduduk lokal umumnya hanya menggunakan airtanah



Gambar 3. Site 1. Cokro. a) Mataair Cokro, b) Rembesan sekitar Cokro; c) Lembah Cokro, d) Pumice yang ditemukan di Cokro; e) Aliran mataair Cokro yang mengalir di bawah pepohonan bambu; f) Kondisi Tanah di Site Cokro)

dangkal sebagai sumber air utama dibandingkan airtanah dalam; sedangkan di Gunungkidul penduduk lokal menggunakan mataair sebagai sumber air bersih (Agniy et al., 2016; Liu et al., 2020).

Secara geomorfologi, site 2 berada pada medan yang berbukit dengan morfologi miring. Elevasi tertinggi di daerah ini adalah 542 mdpl dan terendah 512 mdpl. Ketinggian lereng dari lembah hingga ke puncak mencapai lebih dari 20 meter. Kemiringan lereng mencapai lebih dari 84° (1.5rad) di bagian Utara dan Selatan. Site 2 berupa lembah yang cukup lebar dan memanjang. Proses pembentukan lereng bukit dan kondisi saluran di bagian hulu (*headwater*) sangat dipengaruhi oleh aliran air (Gomi et al., 2002). Tanah di site ini berupa pasir, sehingga memiliki laju infiltrasi tinggi sebesar 1779,612 mm/jam (Gambar 4a). Material yang mengandung pasir memiliki kemampuan meresapkan air yang tinggi, sehingga baik dalam pembentukan airtanah (Lentswe & Molwalefhe, 2020). Proses geomorfologi yang terjadi di site 2 berupa longsor dan erosi parit. Longsor terjadi pada lereng yang curam, sedangkan erosi parit terbentuk di sepanjang jalur aliran air dari mataair dan menuju ke elevasi yang lebih rendah (512 mdpl). Mataair di daerah lereng perbukitan umumnya akan menciptakan cekungan sempit yang dangkal (Casanova et al., 2016). Mataair merupakan salah satu indikasi posisi muka airtanah. Jedong merupakan daerah yang lembahnya memiliki kemiringan lereng yang cukup curam. Jika dikaitkan dengan bencana longsor, maka airtanah memiliki peran yang penting dalam memicu terjadinya longsor, terutama berupa *deep-seated landslide*, yaitu longsor yang terjadi dengan sangat lambat, umumnya berada di daerah perakaran hutan, dan dipengaruhi oleh kenaikan muka airtanah. Jika posisi muka airtanah berada jauh di bawah permukaan tanah, maka *deep-seated landslide* akan semakin mudah terjadi, terutama pada saat terjadinya kenaikan muka airtanah (*water table*) (Wei



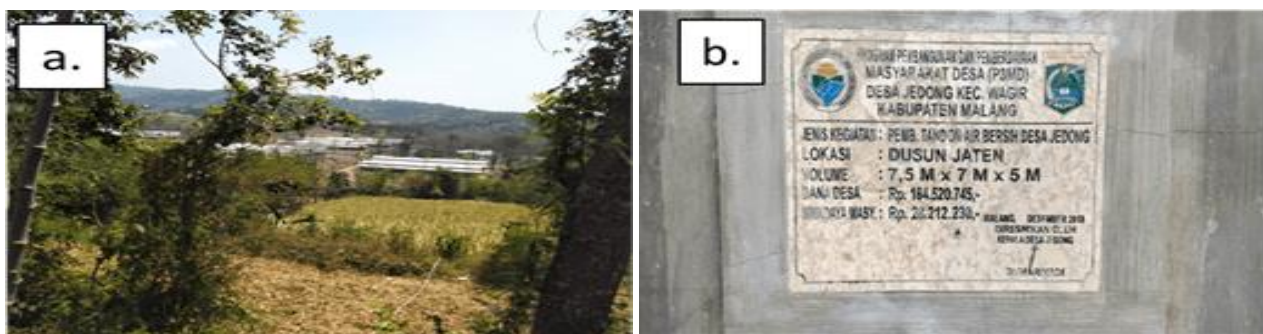
Gambar 4. Site 2 Awar-awar. a) Rembesan di sekitar site; b) Singkapan material tuffan, c) Mataair Awar-awar, d) Tandon dan pompa)

et al., 2019). Alasan tersebut membuktikan bahwa kondisi air sangat menentukan proses pembentukan bukit dan sistem saluran di hulu (Gomi et al., 2002). Sepanjang lembah sungai banyak ditemukan singkapan batuan breksi dan bongkah hasil rombakan batuan. Pada kondisi tersebut, umumnya singkapan batuan yang tidak terlalu lapuk dan biasanya terfragmentasi di tebing-tebing kecil dan lereng yang curam, sedangkan lapisan endapan permukaan akan menutupi bagian batuan yang belum mengalami pelapukan (Briški et al., 2020). Bagian yang landai tertutup oleh deposit koluvial. Endapan permukaan merupakan tanah dengan ketebalan yang bervariasi dari tipis hingga tebal. Gambar 4b menunjukkan tebal tanah sekitar 30 cm. Singkapan batuan tuff terdapat di bawah lapisan tanah. Batuan breksi juga banyak tersingkap di sekitar mataair dan aliran sungai dalam ukuran bongkah (Gambar 4c). Kontak antara material vulkan yang berupa tuff dan lahar pada daerah lereng yang terpotong akan menghasilkan banyak mataair dengan debit yang cukup besar (Rahardjo, 2018). Mataair di Site 2 memiliki tampungan/kolam yang kemudian disalurkan ke tandon melalui pipa. Air dalam tandon kemudian dipompa untuk disalurkan ke rumah-rumah penduduk (Gambar 4d).

Site 3 berupa rembesan (*seepage*) yang berada di sekitar lembah Sawah. Daerah ini merupakan cekungan sempit dan dikelilingi oleh perbukitan dan vegetasi berkanopi tinggi dan rapat (Gambar 5a dan 5c). Sepanjang tekuk lereng terdapat rembesan dengan aliran yang kecil (Gambar 5b). Pada musim hujan, air yang merembes dari tekuk lereng akan semakin besar, sehingga menambah aliran di sungai orde 3 di sekitarnya. Air yang keluar dikontrol sepenuhnya oleh hujan. Aliran air dari rembesan membentuk erosi parit yang dangkal dengan aliran yang tipis. Aliran ini selanjutnya masuk ke sungai orde 3. Kedalaman sungai mencapai 1 meter, dan dibendung untuk digunakan sebagai saluran irigasi primer (Gambar 5d). Aliran sungai sangat tipis dan fluktuatif mengikuti musim. Material dasar sungai berupa bongkah dan kerakal tertutup oleh vegetasi. Lembah sawah cukup landai dan kaya akan air, sehingga dapat dimanfaatkan penduduk untuk menanam padi sawah. Rembesan inilah yang digunakan untuk mengairi sawah sepanjang tahun. Kemiringan bukit di sekitar lembah mencapai lebih dari 15° (0.27rad). Aliran sungai Orde 3 mengalir dari daerah yang lebih tinggi melewati lembah Sawah, dan mengalir hingga ke Site 2 Awar-awar (Gambar 5c). Site 3 memiliki laju infiltrasi yang cukup tinggi yaitu 132 mm/jam , akan tetapi lebih kecil jika dibandingkan dengan site 1 Cokro dan Site 2 Awar-awar. Daerah ini tertutup oleh vegetasi di bagian sekitar cekungan yang berupa perbukitan rendah. Vegetasi dominan di bagian perbukitan adalah bambu dan pohon berkayu. Endapan permukaan di atas material tanah berupa kayu, bambu dan bongkah batuan.



Gambar 5. Site 3 Sawah. Garis merah merupakan penanda arah dan aliran sungai. a) Sawah di sekitar rembesan; b) Rembesan di tekuk lereng sekitar sawah; c) Aliran sungai dari sumber sawah yang tertutup oleh vegetasi; d) Saluran irigasi yang airnya berasal dari Site 3 Sawah.



Gambar 6. Site 4 Sekitar Tandon. a) Lembah di sekitar punggung, b) Tandon air bersih)

Site 4 berupa punggung bukit tepat di tengah daerah kajian. Daerah ini memiliki ketinggian 575 mdpl. Bagian Utara dan Selatan punggung berupa lembah yang dengan penggunaan lahan hutan di bagian Selatan dan pertanian lahan kering di bagian utara (Gambar 5a). Bagian punggung dapat dilakukan pengeboran airtanah. Penduduk memanfaatkan air dari mataair yang dipompa dari Site 1 dan Site 2. Bagian atas punggung memiliki kemiringan lereng $0,2\text{rad}$ (11°), sedangkan tepi punggung memiliki kemiringan lereng lebih dari 1rad (57°), sehingga masuk pada kategori curam. Tampungan air yang terbuat dari beton (*concrete*) terdapat di bagian puncak punggung (Gambar 5b). Tampungan berfungsi untuk menampung air dari mataair lainnya, sebelum didistribusikan ke masyarakat. Air dalam tampungan berasal dari luar Jedong yang digunakan untuk menambah suplai air bagi pemenuhan kebutuhan air penduduk. Selain mataair, rembesan juga banyak ditemukan di sekitar lembah sungai dan daerah ledokan.

Tabel 1 merupakan matrik karakteristik geomorfologi dan hidrologi Jedong berdasarkan Variabel Karakteristik Hidrogeomorfologi menurut Gomi et al., (2002). Variabel karakteristik pada proses geomorfologi mencakup satuan bentuklahan, morfologi, medan, kemiringan lereng, pergerakan sedimen, tipe erosi saluran, elemen kekasaran dan elemen permukaan. Variabel karakteristik pada proses hidrologi mencakup tipe, debit mataair, sumber aliran, pembentuk aliran, rezim aliran, dinamika panas, laju infiltrasi, dan resapan air. Berdasarkan variabel proses hidrogeomorfologi, site yang berupa lembah (yaitu: Site 1, 2, dan 3) merupakan Satuan Hidrogeomorfologi Lembah Kaki Gunungapi (*Volcanic Foot Valley Hydrogeomorphological Unit*). Site yang berupa punggung (Gambar 6), merupakan Satuan Hidrogeomorfologi Punggung Kaki Gunungapi (*Volcanic Foot Ridge Hydrogeomorphological Unit*). Airtanah di Satuan Hidrogeomorfologi Lembah Kaki Gunungapi memiliki potensi yang besar dibandingkan Satuan Hidrogeomorfologi Punggung Kaki Gunungapi.

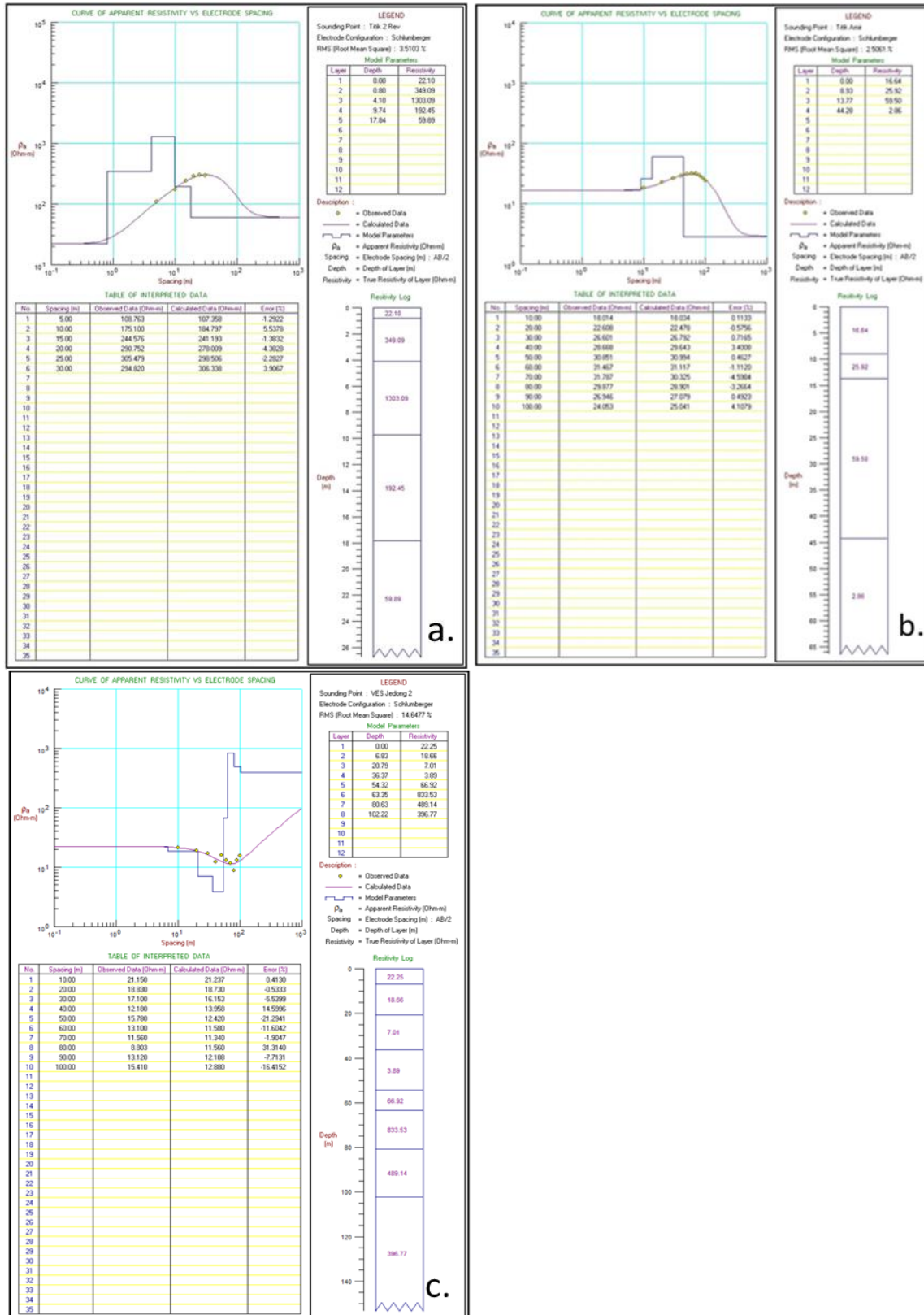
Tabel 1. Karakteristik Proses Geomorfologi dan Hidrologi Jedong Berdasarkan Variabel Karakteristik Hidrogeomorfologi Menurut Gomi (2002)

Proses	Karakteristik	Site			
		Cokro	Awar-awar	Sawah	Tandon
Lahan	Penggunaan Lahan	Kebun campur	Kebun Campur	Sawah dan kebun campur	Pemukiman dan kebun
Geomorfologi	Satuan Bentuklahan	Lereng tengah	Lereng tengah	Lereng tengah	Lereng tengah
	Morfologi	Bergunung	Bergunung	Bergunung	Bergunung
	Medan	Lembah	Lembah	Lembah	Punggungan
	Kemiringan lereng	> 34° di tepi lembah	> 84° di tepi lembah	> 15°	> 11°
	Pergerakan sedimen	1° dasar lembah	Cekungan sempit	Cekungan sempit	Cembung
		Longsor pada tepi lembah	Longsor pada tepi lembah	Erosi	Erosi
		Erosi pada bagian yang landai	Deep-seated landslide		
	Tipe Erosi Saluran	Erosi parit	Erosi parit	Erosi parit	Erosi
	Singkapan batuan	Breksi, <i>pumice</i>	Breksi	Breksi	-
	Elemen Kekasaran	Bongkah batuan, kayu dan bambu	Bongkah batuan, kayu dan bambu	Bongkah batuan, kayu dan bambu	-
	Endapan permukaan	Tanah pasiran dan kolumial	Tanah pasiran dan kolumial	Tanah liat	Tanah pasir
Hidrologi	Tipe	Mataair	Mataair	Rembesan	-
	Debit Mataair	198 m ³ /hari	56.16 m ³ /hari	-	-
	Sumber Aliran	Hujan, dan airtanah	Hujan, dan airtanah	Hujan, dan airtanah	-
	Pembentuk Aliran	Aliran airtanah pada lereng bukit	Aliran airtanah pada lereng bukit	Aliran airtanah pada lereng bukit	Hujan dan run-off
	Rezim Aliran	<i>Baseflow</i> stabil	<i>Baseflow</i> stabil	Lebih kecil pada saat musim kemarau	-
	Dinamika Panas	Tertutup kanopi bambu dan pohon berkayu	Tertutup kanopi bambu dan pohon berkayu	Sebagian lahan terbuka	Lahan terbuka
		Tergantung aliran airtanah	Tergantung aliran airtanah	Tergantung aliran airtanah	-
	Laju Infiltrasi	1774 mm/jam	1779,612 mm/jam	132 mm/jam	1770,612 mm/jam
	Resapan Air	Tinggi dari perakaran bambu	Tinggi dari perakaran bambu	Tinggi dari perakaran bambu	Tinggi dari material tanah pasiran

Sumber: Hasil analisis lapangan (2021)

3.2. Pendugaan Akuifer Melalui Pengujian Geolistrik

Pengujian geolistrik pada penelitian ini dilakukan pada 3 site, yaitu Lembah Cokro (Site 1), Lembah Awar-awar (Site 2) dan Punggungan Bukit sekitar tandon (Site 4). Site 3 tidak dilakukan pengujian karena akses sulit, dan kondisi yang berupa lembah sempit dengan penggunaan lahan berupa sawah. Pengujian geolistrik yang dilakukan menggunakan konfigurasi Schlumberger, Pengujian geolistrik geolistrik merupakan metode yang tepat dan efisien dalam mengetahui potensi airtanah (Rolia &



Gambar 7. Hasil analisis geolistrik menggunakan perangkat lunak PROGRESS. a) Site 1 Cokro; b) Site 2 Awar-awar; c) Site 4 Tandon

Tabel 2. Detail Strata, Nilai Resistivitas, Material, dan Tipe Akuifer

Site	Layer	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Material	Tipe Akuifer
Cokro	1	22.10	0 – 1	1	Tanah	Surface Deposit
	2	349.09	1 – 4	3	Batu pasir	Aquifer
	3	1303.09	4 – 10	6	Breksi	Aquitard
	4	192.45	10 – 18	8	Batu pasir	Aquifer
	5	59.89	18 – 60	42	Tuff	Aquiclude
Awar-awar	1	16.64	0 - 7	7	Tanah	Surface Deposit
	2	23.64	7 – 19	12	Batupasir dan tuff	Aquifer
	3	81.91	19 – 43	24	Breksi	Aquitard
	4	2.30	43-64	21	Batupasir dan tuff	Aquifer
Tandon	1	22.86	0 – 20	20	Tanah	Surface deposit
	2	7.01	20 – 45	25	Lempung	Aquitard
	3	66.92	45 – 64	19	Pasir	Aquifer
	4	833	64 – 104	44	Lava	Aquiclude

Sumber: Hasil analisis lapangan

Sutjningsih, 2018). Hasil analisis pengujian geolistrik menunjukkan nilai resistivitas batuan yang berbeda-beda sesuai dengan jenis dan sifat batuan tersebut. Gambar 7 menunjukkan hasil analisis geolistrik menggunakan perangkat lunak PROGRESS, sedangkan Tabel 2 menunjukkan rekapitulasi nilai resistivitas pada lapisan yang mampu menyimpan air tanah.

Gambar 7a menunjukkan hasil pengolahan data geolistrik di Site 1 Cokro. *Root Mean Square (RMS) Error* pada olah data adalah sebesar 3,5%, sehingga hasil olah data dapat diterima. Site 1 Cokro menunjukkan hasil analisis material batuan yang terletak di kedalaman 1 – 4 meter, dengan ketebalan rata-rata 3 meter yang diduga memiliki jenis material batupasir. Batupasir tersebut diduga bersifat akuifer bebas atau *unconfined aquifer* yang merupakan akuifer jenuh air (*saturated*) karena memiliki nilai resistivitas sebesar 349.09 Ωm . Lapisan pasir memiliki kemampuan mengalirkan air lebih baik dibandingkan tuff dan lempung (Munawaroh et al., 2020). Lapisan ini merupakan akuifer bebas. Material pasir merupakan batuan sedimen yang berasal dari rombakan batuan breksi. Breksi dan lava merupakan batuan penyusun utama Formasi Vulkan Kawi Butak (Santoso & Suwarti, 1992). Pembatas di lapisan atas berupa endapan tanah. Akuifer bebas merupakan akuifer yang dibatasi oleh lapisan kedap air (Naryanto et al., 2020). Material berupa breksi dengan nilai resistivitas 1303.09 Ωm , diduga sebagai lapisan akuitard yang dapat menyimpan dan melalukan air secara lambat dari satu akuifer ke akuifer lain. Breksi merupakan material yang umumnya ditemukan pada lapisan yang lebih dalam, dan memiliki kemampuan kecil untuk mengalirkan air (Lukman et al., 2017). Kemampuan melalukan air pada lapisan breksi maupun pada lapisan akuitard lain muncul karena adanya tekanan atau rembesan. Lapisan akuitard pada site 1 diperkirakan memiliki ketebalan sekitar 6 m. Selain batuan breksi jenis batuan lain yang mampu berperan sebagai akuitard adalah batulempung (Munawaroh et al., 2020). Di bawah lapisan breksi terdapat lapisan batupasir sebagai akuifer tertekan. Batuan pasir mudah membentuk dan mengalirkan airtanah (Lukman et al., 2017; Munawaroh et al., 2020). Ketebalan lapisan ini adalah 8 meter di kedalaman 10 – 18 meter. Akuifer dengan tipe akuifer semi tertekan (*semi confined aquifer/ leaky aquifer*), karena memiliki nilai resistivitas sebesar 192.45 Ωm . Lapisan di bawah batuan pasir adalah tuff yang bersifat kedap air.

Gambar 7b menunjukkan hasil pengolahan data geolistrik di Site 2 Awar-awar. Hasil olah data memiliki RMS Error sebesar 2,5%, sehingga hasil dapat diterima. Pada Site 2 Awar-awar, lapisan yang paling atas merupakan endapan tanah (*soil deposit*) dengan ketebalan sekitar 7 meter. Tuff pasiran dengan resistivitas 16,55 Ωm yang berada pada kedalaman 7 – 19 meter dari permukaan tanah. Lapisan yang kedua yaitu batu pasiran tuffan dengan resistivitas 23.64 Ωm pada kedalaman 7–19 meter di bawah permukaan tanah. Ketebalan lapisan ini berkisar lebih kurang 12 meter. Lapisan ini merupakan akuifer dangkal dengan materi batupasir dan tuff. Lapisan ini berupa akuifer sebagai akibat dari adanya material pasir yang mempunyai kemampuan lebih baik dibandingkan tuff dan lempung (Lukman et al., 2017; Munawaroh et al., 2020). Kondisi lapisan tersebut dibatasi oleh lapisan di bawahnya yang memiliki resistivitas 81.91 Ωm , dengan material berupa batuan breksi. System hidrostratigrafinya merupakan akuitard yang dapat menyimpan air tetapi hanya dapat meloloskan air dalam jumlah yang terbatas. Lapisan ini berada pada kedalaman 19–43 meter dibawah permukaan tanah. Ketebalan lapisan mencapai kurang lebih 24 meter. Lapisan batuan yang memiliki resistivitas 2,30 Ωm terdapat di

bawah akuitard. Materialnya merupakan jenis batu pasir tuffan, yang dapat membentuk dan mengalirkan airtanah (MA & Bachelor, 2010). Lapisan ini merupakan akuifer tertekan.

Site 4 berada di sekitar tandon air yang secara geomorfologi merupakan punggung. Penggunaan lahan di site 4 berupa kebun pekarangan dan permukiman. Hasil pengolahan data geolistrik ditunjukkan pada Gambar 7c, dengan RMS Error sebesar 14,1%. Nilai RMS Error yang dihasilkan merupakan nilai *error* terkecil setelah dilakukan serangkaian iterasi dan perbaikan data. Besarnya nilai RMS Error tersebut dimungkinkan terdapat faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil analisis geolistrik, sehingga hasil pengolahan data tetap digunakan dalam analisis. Tabel 2 Site 4 Tandon menunjukkan bahwa endapan tanah berada pada kedalaman 0-20 meter dengan resistivitas 22,86 Ωm . Lapisan di bawahnya adalah lapisan lempung dengan resistivitas 7,01 ohmmeter pada kedalaman 20-45 meter. Lapisan ini merupakan akuitard yang mempunyai kemampuan kecil untuk mengalirkan airtanah, jika dibandingkan dengan pasir (Munawaroh et al., 2020). Material pasir pada kedalaman 45-64 meter dengan resistivitas 66,92 Ωm di bawah lapisan lempung. Lapisan ini merupakan akuifer, tetapi airtanahnya tidak dapat digunakan oleh penduduk, sebab dibutuhkan upaya yang lebih besar untuk mengeksplorasinya. Lapisan di bawahnya berupa material vulkan lava pada kedalaman lebih dari 64 meter dengan resistivitas 833 Ωm . Lapisan ini bersifat akuiklud, sehingga kemampuannya kurang untuk menyimpan airtanah.

4. Kesimpulan

Pendekatan hidrogeomorfologi dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi airtanah sebab pendekatan ini merupakan bidang ilmu interdisipliner antara hidrologi dan geomorfologi. Pendekatan hidrogeomorfologi lebih banyak mengeksplorasi hubungan antara kondisi permukaan bumi dengan airtanah yang terdapat di bawah permukaan. Proses identifikasi potensi airtanah menjadi lebih lengkap dan lebih baik, dengan memanfaatkan metode pendugaan geolistrik. Pendugaan geolistrik akan memberikan gambaran kondisi bawah permukaan secara lebih detail. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 2 (dua) satuan hidrogeomorfologi: yaitu satuan hidrogeomorfologi lembah kaki gunungapi dan satuan hidrogeomorfologi punggung kaki gunungapi. Satuan hidrogeomorfologi lembah kaki gunungapi memiliki penciri berupa lembah, didominasi erosi parit dan longsor, serta memiliki material permukaan yang berupa endapan koluvial bongkah hingga pasiran. Airtanah di satuan hidrogeomorfologi lembah kaki gunungapi, yang dapat digunakan melalui pemompaan, adalah akuifer tertekan pada kedalaman 10-18 meter di Site 1 Cokro, dan akuifer bebas pada kedalaman 7-19 meter di Site 2 Awar-awar. Satuan hidrogeomorfologi lembah kaki gunungapi juga berpotensi tinggi sebagai daerah resapan air, sebab memiliki tingkat infiltrasi yang tinggi. Satuan hidrogeomorfologi lembah kaki gunungapi di Site 3 memiliki akses yang sulit dan potensi airtanah yang lebih kecil, sehingga kurang dapat dimanfaatkan airtanahnya oleh penduduk. Satuan hidrogeomorfologi punggung kaki gunungapi berada di Site 4 tandon. Satuan ini memiliki penciri berupa punggung, proses geomorfologi yang mendominasi adalah erosi, serta endapan permukaan berupa pasiran. Airtanah di satuan hidrogeomorfologi punggung kaki gunungapi tidak dapat diambil, sebab lapisan akuifer sangat dalam, yaitu antara 45-64 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan hidrogeomorfologi dan pendugaan geolistrik dapat memberikan gambaran tentang potensi airtanah. Potensi airtanah terbaik berada di satuan hidrogeomorfologi lembah kaki gunungapi. Jika pemanfaatan airtanah dilakukan secara optimal, maka kebutuhan air penduduk Jedong akan terpenuhi.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Winarso (Tim Teknis Sumber Daya Air PAMDES Jedong) dan Pengurus PAMDES Desa Jedong, Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang. yang telah membantu menyediakan fasilitas, data dan informasi di lapangan, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

6. Referensi

Agniy, R. F., Haryono, E., & Cahyadi, A. (2016). Karakteristik dan Pemanfaatan Mataair di Daerah Tangkapan Sistem Goa Pindul, Karangmojo, Gunungkidul. In S. Suprayogi, S. Purnama, A. Cahyadi, & H. Fatcurohman (Eds.), *Hidrologi dan Pariwisata* (Issue December 2018). Badan PENERBIT Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. <https://doi.org/10.31227/osf.io/zxwg4>

- Briški, M., Stroj, A., Kosović, I., & Borović, S. (2020). Characterization of aquifers in metamorphic rocks by combined use of electrical resistivity tomography and monitoring of spring hydrodynamics. *Geosciences (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/geosciences10040137>
- Casanova, J., Devau, N., & Pettenati, M. (2016). Managed aquifer recharge: An overview of issues and options. In *Integrated Groundwater Management: Concepts, Approaches and Challenges*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9_16
- Dai, X., Xie, Y., Simmons, C. T., Berg, S., Dong, Y., Yang, J., Love, A. J., Wang, C., & Wu, J. (2021). Understanding topography-driven groundwater flow using fully-coupled surface-water and groundwater modeling. *Journal of Hydrology*, 594(September 2020), 125950. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125950>
- Gomi, T., Sidle, R. C., & Richardson, J. S. (2002). Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. *BioScience*, 52(10), 905–916. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0905:UPADLO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0905:UPADLO]2.0.CO;2)
- Hwang, J. Y., Park, S., Kim, H.-K., Kim, M.-S., Jo, H.-J., Kim, J.-I., Lee, G.-M., Shin, I.-K., & Kim, T.-S. (2017). Hydrochemistry for the Assessment of Groundwater Quality in Korea. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 06(01), 1–29. <https://doi.org/10.4236/jacen.2017.61001>
- Lentswe, G. B., & Molwalefhe, L. (2020). Delineation of potential groundwater recharge zones using analytic hierarchy process-guided GIS in the semi-arid Motloutse watershed, eastern Botswana. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28(February), 100674. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100674>
- Liu, H., Tang, J., Zhang, X., Wang, R., Zhu, B., & Li, N. (2020). Seasonal variations of groundwater recharge in a small subtropical agroforestry watershed with horizontal sedimentary bedrock. *Journal of Hydrology*, September, 125703. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125703>
- Lukman, A., Aryanto, M. D., Pramudito, A., Andhika, A., & Irawan, D. E. (2017). Understanding Kendal aquifer system: A baseline analysis for sustainable water management proposal. *Journal of Physics: Conference Series*, 877(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/877/1/012053>
- Maemuna, S., Darsono, D., & Legowo, B. (2017). Identifikasi Akuifer di Sekitar Kawasan Karst Gombong Selatan Kecamatan Buayan Kabupaten Kebumen dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 13(2), 44. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v13i2.2156>
- Masitoh, F., Rusydi, A. N., & Diki Pratama, I. (2019). Kajian hidrogeomorfologi pada DAS orde 0 (nol) di Dusun Brau Batu. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 24(2), 73–84. <https://doi.org/DOI:http://dx.doi.org/10.1797/um017v24i22019p0073>
- Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A., & Govindaraju, R. S. (2018). Role of slope on infiltration: A review. *Journal of Hydrology*, 557, 878–886. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.019>
- Munawaroh, N., Puspitasari, N. N. A., Hadi, M. P., & Suarna, U. (2020). Geosonar for impermeable layer mapping in urbanized Upper Belik catchment, Yogyakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 451(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/451/1/012027>
- Naryanto, H. S. R. I., Khaerani, P., Trisnafiah, S., Shomim, A. F., & Tejakusuma, I. G. (2020). Identifikasi Potensi Airtanah untuk Kebutuhan Penyediaan Air Bersih dengan Metode Geolistrik : Studi Kasus di Kawasan Geostech , Puspipetek Serpong Groundwater Identification for Clean Water Needs Using Geoelectrical Method in Geostech Building Area , Pusp. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 204–212.
- Olakunle, J. (2012). *Geostatistical Analysis of the Geoelectrical Parameters of Oke- Badan Estate , Akobo , South Western , Nigeria*. 3(June), 27–33.
- Poespowardoyo, S. (1984). *Hydrogeological Map of Indonesia, Scale 1:250.000, Sheet X Kediri*.
- Pourghasemi, H. R., Sadhasivam, N., Yousefi, S., Tavangar, S., Ghaffari Nazarlou, H., & Santosh, M. (2020). Using machine learning algorithms to map the groundwater recharge potential zones. *Journal of Environmental Management*, 265(March), 110525. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110525>
- Rahardjo, N. (2018). Pemetaan Potensi Mataair Di Pulau Bali. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 4(2), 71–79. <https://doi.org/10.29122/jrl.v4i2.1853>
- Rathi, V. K., Ram, S., Kumar, R., Agarwal, A., & Nema, R. K. (2020). Hydrological classification and performance of Himalayan springs in climate change scenario - a case study. *Water Science and Technology: Water Supply*, 20(2), 594–608. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.191>
- Ratih, S., Awanda, H. N., Saputra, A. C., & Ashari, A. (2019). Volcanic Springs, An Alternative

- Emergency Water Resource to Support Sustainable Disaster Management in Southern Flank of Merapi Volcano. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 271(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/271/1/012012>
- Rohadi, R., & Yulianti, I. (2015). Unnes Physics Journal. *Unnes Physics Journal*, 6(1), 50–53.
- Rolia, E., & Sutjiningsih, D. (2018). Application of geoelectric method for groundwater exploration from surface (A literature study). *AIP Conference Proceedings*, 1977(June). <https://doi.org/10.1063/1.5042874>
- Santoso, S., & Suwarti, T. (1992). *Systematic Geological Map of Indonesia, Quadrangle Malang 1608-1*.
- Sidle, R. C., Gomi, T., Loaiza Usuga, J. C., & Jarihani, B. (2017). Hydrogeomorphic processes and scaling issues in the continuum from soil pedons to catchments. *Earth-Science Reviews*, 175(August), 75–96. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.10.010>
- Sidle, R. C., & Onda, Y. (2004). Hydrogeomorphology: Overview of an emerging science. *Hydrological Processes*, 18(4), 597–602. <https://doi.org/10.1002/hyp.1360>
- Singh, A., Kala, S., Dubey, S., Rao, B., Gaur, M., Mohapatra, K., & Prasad, B. (2014). Evaluation of bamboo based conservation measures for rehabilitation of degraded Yamuna ravines. *Indian Journal of Soil Conservation*, 42(1), 80–84.
- Singh, S. K., Zeddies, M., Shankar, U., & Griffiths, G. A. (2019). Potential groundwater recharge zones within New Zealand. *Geoscience Frontiers*, 10(3), 1065–1072. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.05.018>
- Teixeira, J., Chaminé, H. I., Carvalho, J. M., Pérez-Alberti, A., & Rocha, F. (2013). Hydrogeomorphological mapping as a tool in groundwater exploration. *Journal of Maps*, 9(2), 263–273. <https://doi.org/10.1080/17445647.2013.776506>
- Wei, Z. lei, Lü, Q., Sun, H. yue, & Shang, Y. quan. (2019). Estimating the rainfall threshold of a deep-seated landslide by integrating models for predicting the groundwater level and stability analysis of the slope. *Engineering Geology*, 253(October 2018), 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.02.026>
- Wijaya, A. S. (2015). Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Untuk Menentukan Struktur Tanah di Halaman Belakang SCC ITS Surabaya. *Jurnal Fisika Indonesia No.*, XIX(55), 321.